

УДК 692.237

DOI 10.47367/0021-3497_2023_6_203

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ
ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ЗА СЧЕТ ПРОДЛЕНИЯ ЦИКЛА
ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ СБОРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ***

**IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF AUXILIARY BUILDINGS
OF THE TEXTILE INDUSTRY BY EXTENDING THE LIFE CYCLE
OF PREFABRICATED COMPOSITE WALL PANELS**

*В.И. РИМШИН², М.В. ЛУКИН¹, Д.В. РЕВА¹, С.И. РОЩИНА¹
V.I. RIMSHIN², M.V. LUKIN¹, D.V. REVA¹, S.I. ROSHCHINA¹*

¹Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых,
²НИУ Московский государственный строительный университет)

(¹Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nikolai Grigoryevich Stoletov,
²NRU Moscow State University of Civil Engineering)

E-mail: lukin_mihail_22@mail.ru, mlisyatnikov@mail.ru, dachibrikin@outlook.com,
rsi3@mail.ru, v.rimshin@niisf.ru

Инfiltrация воздуха через ограждающие конструкции оказывает существенное влияние на тепловой баланс здания, в том числе на вспомогательные здания текстильной промышленности. Композитные стеновые панели на деревянном каркасе, изготовленные в заводских условиях, имеют высокие показатели качества, однако технические решения узлов стыковки панелей не отвечают требованиям теплопроводности и герметичности, поэтому конструктивные решения узлов стыковки таких панелей требуют совершенствования. Высокая воздухопроницаемость и наличие тепловых мостов в местах соединений композитных каркасных стеновых панелей оказывают значительное влияние на тепловой баланс здания и его эксплуатационные характеристики. Исследование теплофизических характеристик производилось путем измерения плотности теплового потока в узле сопряжения панелей, а также измерением температуры поверхности по линии, расположенной перпендикулярно стыку. В ходе испыта-

*Работа выполнена в рамках государственного задания в сфере научной деятельности Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема FZUN-2020-0015, госзадание ВлГУ). Исследования проводились с использованием оборудования межрегионального многопрофильного и междисциплинарного центра коллективного пользования перспективных и конкурентоспособных технологий по направлениям развития и применения в промышленности/машиностроении отечественных достижений в области нанотехнологий (соглашение №075-15-2021-692 от 5 августа 2021 года).

ний построены графики распределения температуры по внутренней поверхности фрагмента ограждающей конструкции при различных типах и толщинах вставок и температуры наружного воздуха, а также установлено, что при испытаниях плотность теплового потока в ребрах с теплоизолирующими включениями меньше по сравнению с цельнодеревянными ребрами от 19% до 52%. В ходе экспериментальных исследований выявлено, что при сильно отрицательных температурах наружного воздуха температура внутренней поверхности панелей в зоне установки цельнодеревянного ребра может понизиться до температуры выпадения росы. Исследованиями доказано, что установка линейно-дискретных включений в торцевые ребра панелей каркаса стеновых панелей исключает столь значительное снижение температуры, следовательно, данный вид конструктивного решения повышает эксплуатационную надежность конструкций вспомогательных зданий фабрик текстильной промышленности, увеличивая их цикл жизнедеятельности.

Air infiltration through the enclosing structures has a significant impact on the thermal balance of the building, including auxiliary buildings of the textile industry. Composite wall panels on a wooden frame, manufactured in the factory, have high quality indicators, however, the technical solutions of the panel docking units do not meet the requirements of thermal conductivity and tightness, therefore, the design solutions of the docking units of such panels require improvement. High air permeability and the presence of thermal bridges at the junctions of composite frame wall panels have a significant impact on the thermal balance of the building and its operational characteristics. The study of thermophysical characteristics was carried out by measuring the heat flux density at the junction of the panels, as well as measuring the surface temperature along a line perpendicular to the joint. During the tests, graphs of the temperature distribution over the "inner" surface of the fragment of the enclosing structure were constructed for various types and thicknesses of inserts and outdoor air temperature, and it was also found that during the tests, the heat flux density in the ribs with insulating inclusions is lower compared to solid wood ribs from 19% to 52%. In the course of experimental studies, it was revealed that at very negative outdoor temperatures, the inner surface of the panels in the zone of installation of an all-wood rib can drop to the dew point. Studies have proved that the installation of linear-discrete inclusions in the end edges of the panels of the frame of wall panels eliminates such a significant decrease in temperature, therefore, this type of design solution increases the operational reliability of the structures of auxiliary buildings of textile factories, increasing their life cycle.

Ключевые слова: композитные панели, узловые сопряжения, вспомогательные здания, текстильная промышленность, энергоэффективность, теплоизолирующие рассечки, удельные потери, температура, воздухопроницаемость, тепловой мост, температурные поля, цикл жизнедеятельности.

Keywords: composite panels, node junctions, auxiliary buildings, textile industry, energy efficiency, thermal insulation sections, specific losses, temperature, breathability, thermal bridges, temperature fields, the life cycle.

С повышением требований к тепловой защите зданий большое внимание уделяется разработкам новых конструктивных решений, позволяющих повысить теплотехнические характеристики стенового ограждения и здания в целом. Особый интерес представляют здания, возведенные из крупнопанельных элементов высокой степени заводской готовности, жизненный цикл которых может быть продлен за счет повышения энергоэффективности стеновых панелей.

Вопросам исследования тепловых мостов в стенах зданий посвящена работа [1], в которой представлен метод инфракрасной термографии, используемый для визуализации тепловых мостиков, а также подлинный дополнительный экспериментальный метод, позволяющий определить количественные аспекты потерь тепла через оболочку. В работе [2] основные тепловые мосты проанализировали, оптимизировали и использовали для расчета среднего коэффициента теплопередачи стандартного фасадного модуля, сравнивая его с некорректированным значением U . В работе [3] рассмотрен смешанный метод описания трехмерной трехслойной стены, имеющей те же статические и динамические характеристики, что и многомерный тепловой мост. В [4] предлагается новый активный метод определения характеристик теплового моста. Работа [5] посвящена разработке инновационного подхода к моделированию фактического деформирования границ композитных стен методом конечных элементов, использующим оболочку общей жесткости. В работе [6] выполнено прогнозирование тепловых характеристик и коэффициента теплопропускания в новых стенах. В работе [7] оценивается влияние расположения теплоизоляции на ее эффективность в фасадных стенах из LSF. Для этой цели оцениваются несколько типов стен LSF, а именно холодная, теплая и гибридная конструкция. Также оценивается влияние тепловых мостиков, создаваемых стальными шпильками, на общие тепловые характеристики стен LSF. В статье [8] исследована конструкция с легким стальным каркасом (LSF), а также ее защита от

нежелательных тепловых мостиков, вызванных высокой теплопроводностью стали. В [9] выполнена оценка влияния тепловых мостов на показатели тепловой энергии жилого здания с учетом трех различных возможностей моделирования теплового моста. Результаты показали, что тип моделирования влияет на значения энергопотребления и показатели теплового комфорта в здании. Разница в расходе различных моделей может достигать 20% в зависимости от уровня изоляции здания. В [10] рассматриваются неразрушающие методы оценки теплопропускания и поведения стен.

Численные методы исследования композитных конструкций рассмотрены в работе [11]. Исследования работы композитных конструкций в каркасных деревянных зданиях проведены в работах [12...14]. Инженерные расчеты композитных конструкций рассмотрены в работах [15...18], свойства композиционных материалов – в работах [19, 20]. Технологические факторы, продлевающие цикл жизнедеятельности конструкционных и теплоизоляционных материалов, исследованы в работах [21...24].

На основании обзора и анализа патентов и научных статей можно сделать вывод о том, что методики расчета энергоэффективных узловых сопряжений панелей с деревянным каркасом отсутствуют как в России, так и за рубежом. Это обусловлено малым количеством исследований в данной области, соответственно данная тема изучена недостаточно.

В российских нормах приведена методика расчета сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. С точки зрения теплопроводности спаренная стойка, образованная стыком двух панелей, является линейной неоднородностью материала панели. При расчете приведенного сопротивления теплопередаче необходимо учитывать влияние тепловых мостов.

Применяемые в современной практике узлы стыковки стеновых панелей имеют различные конструктивные решения (рис. 1). Простейшим сопряжением стеновых панелей является прямой стык (рис. 1, а). Воздухопроницаемость такого узла также бу-

дет достаточно высокой. Процессы температурно-влажностных перепадов будут вызывать деформации древесины деталей узлового сопряжения, что в свою очередь будет способствовать образованию зазоров и щелей. Кроме того, прохождение сквозь конструкцию теплого воздуха может осуществляться и через места примыкания обшивки к торцевым стойкам каркаса. Также следует отметить низкую технологичность монтажа стыка. При сборке здания необходимо использовать много дополнительного оборудования в виде струбцин, уровней и т. д. для выставления конструкций в одной плоскости. Следует заметить, что при различных горизонтальных нагрузках на смежные панели крепежные элементы будут испытывать действие поперечных сил, что со временем может привести к разбалтыванию деталей стыка.

Дальнейшее развитие конструктивных решений было в основном направлено на повышение технологичности монтажа и исключение «продуваемости» узловых соединений. Вопрос повышения теплофизических характеристик на современных производствах решается установкой дополнительного слоя утеплителя с наружной стороны панелей, что в целом повышает теплотехническую однородность панели, но приводит к усложнению технологии изготовления и монтажа конструкций и удорожанию строительства в целом. Узловое сопряжение панелей с дополнительным утеплением снаружи приведено на рис. 1, б.

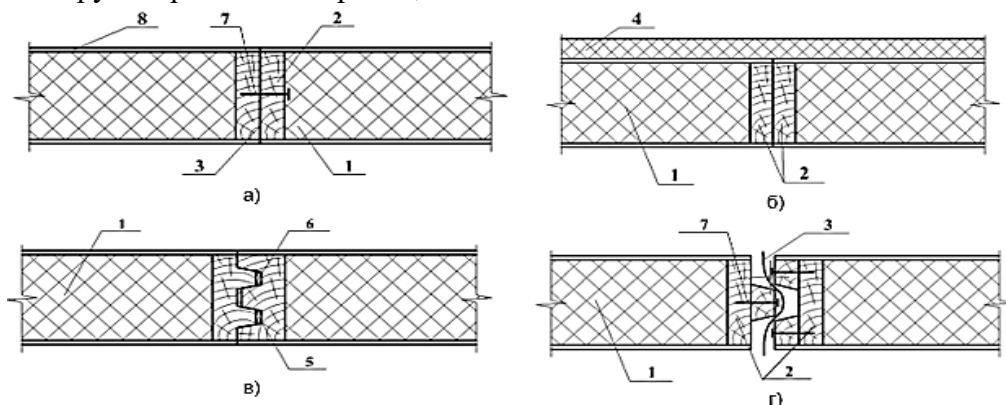


Рис. 1

С целью повышения технологичности монтажа в производстве деревянных каркасно-панельных элементов применяют пазогребневый стык, как показано на рис. 1, в. Такое соединение значительно упрощает технологию монтажа, однако при различных горизонтальных нагрузках на смежные панели гвоздевая нагрузка будет передаваться на гвоздевые соединения. Воздухопроницаемость такого соединения также высокая ввиду большого количества зазоров между элементами стыка.

При конструировании узла сопряжения стеновых панелей на деревянном каркасе необходимо стремиться к уменьшению ширины теплопроводящей части. Этого можно добиться при помощи фрезерной обработки торцевых брусков. Тогда пазогребневое соединение будет цельнодеревянным и с минимальной шириной. В таких пазогребневых соединениях возможна установка нескольких ступеней уплотнителя для обеспечения должной герметичности соединения. Пример таких соединений приведен на рис. 1, г. При пазогребневом соединении возрастает технологичность монтажа. Горизонтальные нагрузки на стеновые ограждения перераспределяются на деревянный каркас и не нагружают крепежные элементы. Такое соединение имеет низкую воздухопроницаемость, однако остается возможность проникновения теплого воздуха между обшивкой и торцевыми ребрами каркаса.

Как видим из анализа, пазогребневое соединение, выполненное из цельнодеревянного профильного бруса, является наиболее оптимальным и ресурсоемким,

однако теплопроводность соединения остается достаточно высокой.

Цель исследования заключается в выявлении экспериментальных зависимостей

плотности теплового потока на внутренней поверхности опытных образцов от коэффициента теплопроводности материала теплоизолирующей вставки, ширины теплоизолирующей вставки и температуры наружного воздуха, а также в установлении характера распределения температуры на внутренней поверхности опытных образцов.

Объектом исследования являются стыки сопряжения стеновых композитных панелей с деревянным каркасом.

Предметом исследования выступает энергоэффективность стыков стеновых панелей.

С целью снижения теплового потока введем в сечение торцевых ребер рассечки из эффективного теплоизолирующего материала, например, экструдированного пенополистирола или пенофола.

Необходимо испытать три образца стыка панелей с различной шириной теплоизолирующего включения d . Фактор d учитывает влияние толщины линейно-дискретного включения на теплозащитные свойства узла стыковки и изменяется: $d = 5 \text{ мм}; 15 \text{ мм}; 25 \text{ мм}$.

Для достижения различных сочетаний варьируемых параметров в процессе испытаний сменяется материал теплоизолирующего включения k . Фактор k учитывает значения теплопроводности материала, применяемого для заполнения линейно-дискретных включений, влияющих на плотность теплового потока узлового сопряжения, которые равны: для воздуха – $0,08 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$, экструдированного пенополистирола – $0,031 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$, пенофола – $0,054 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$.

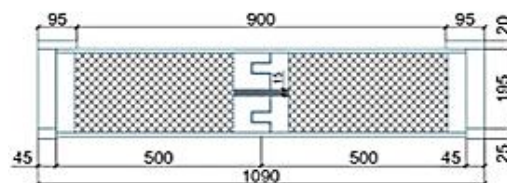
Сменяется также температура «наружного» воздуха t . Фактор t учитывает влияние температуры наружного воздуха в зависимости от различных климатических зон на плотность теплового потока, изменяется: $-5 \text{ }^{\circ}\text{C}; -20 \text{ }^{\circ}\text{C}; -35 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Следует испытать также узловое соединение без теплопроводного включения для определения эффективности принятых конструктивных и технологических решений.

Так как ходом испытаний не предполагается разрушение образца и изменение каких-либо его физико-механических и теплотехнических характеристик, то некоторые образцы можно использовать для эксперимента повторно. Общий вид одного из типов исследуемых панелей представлен на рис. 2, а, разрез по стеновой панели – на рис. 2, б.



а)



б)

Рис. 2

Экспериментальные исследования теплотехнических характеристик узлов стыковки стеновых панелей с деревянным каркасом проводились с использованием климатической камеры ESPEC (TABA) (Япония) серии PLATINOS K, марки PSL-4KN. Камера объемом 800 литров предназначена для испытания изделий в режимах высокой и низкой температуры, а также контролируемой относительной влажности. Исследование стеновой панели в камере представлено на рис. 3.



Рис. 3

Измерение плотности теплового потока производилось при помощи прибора ИТП-МГ4.03/5(1) «Поток». Прибор предназначен для измерений и регистрации плотности теплового потока, проходящего через теплообменные поверхности теплоэнергетических объектов, а также температур таких поверхностей и (или) окружающих их газообразных и сыпучих сред.

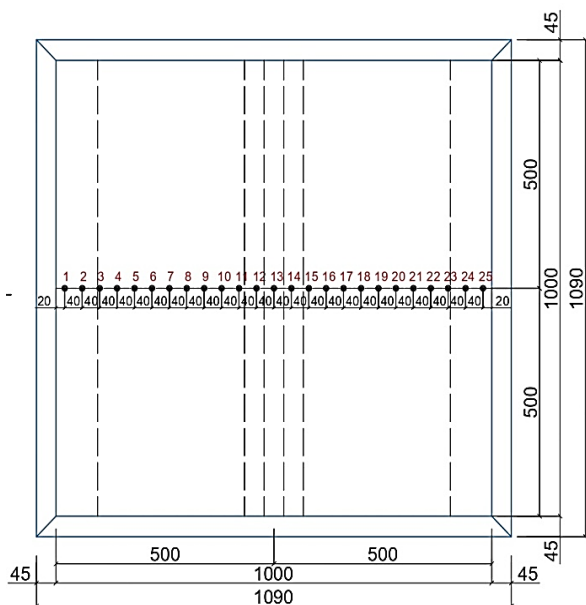


Рис. 4

Измеритель позволяет определять сопротивление теплопередаче и термическое сопротивление ограждающих конструкций

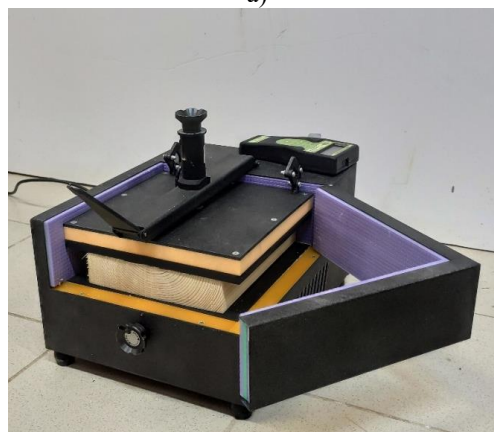
и изделий, а также измерять температуру воздуха внутри и снаружи помещения.

Схема размещения датчиков температуры и теплового потока на конструкции стеновой панели представлена на рис. 4. Размещение датчиков произведено в соответствии с инструкцией на измерительный прибор.

Для уточнения теплотехнических характеристик материалов, используемых при изготовлении опытных образцов, производились замеры их теплопроводности прибором ИТП-МГ4 «250» (рис. 5). Данный прибор предназначен для определения теплопроводности и термического сопротивления строительных материалов, а также материалов, предназначенных для тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов при стационарном режиме.



а)



б)

Рис. 5

Методика планирования эксперимента по изучению теплофизических характеристик узлового сопряжения стеновых пане-

лей на деревянном каркасе выполнена с применением методики комбинационного квадрата. Принятый комбинационный квадрат разработан для трех первичных факторов, каждый из которых состоит из четырех вариантов. Проверка возможности практического применения рационального планирования эксперимента выполнена на практических данных о плотности теплового потока, полученных из экспериментального исследования натуральных фрагментов узловых сопряжений. Теплоизолирующая способность торцевых деревянных брусков зависит от ширины сквозных пазов, создающих линейную теплопроводную неоднородность. Материал заполнения пазов может обладать различным коэффициентом теплопроводности. Также на плотность теплового потока влияет величина разности температур. В разных климатических зонах температура наружного воздуха существенно влияет на эксплуатационные режимы конструкций.

Таким образом, варьируемыми факторами выбраны: ширина дискретно-линейного разрыва, материал заполнения, температура наружного воздуха. За постоянный фактор принимается температура внутреннего воздуха, равная 20 °С. Такое планирование эксперимента позволяет сузить количество проводимых опытов с 27 до 9 при допустимом снижении точности интересующих нас зависимостей вторичных факторов плотности теплового потока от первичных: температуры (t), толщины вставки (d), теплопроводности (k).

В результате получили следующие эмпирические зависимости, найденные по графикам влияния каждого фактора на прочность опытных образцов:

$$f(k) = 34,922k^2 - 4,3717k + 1,1154, \quad (1)$$

$$f(d) = 0,0005d^2 - 0,0204d + 1,1968, \quad (2)$$

$$f(t) = -0,0002t^2 - 0,0158t + 0,7756. \quad (3)$$

По найденным частным уравнениям каждой переменной получена эмпирическая зависимость, учитывающая влияние каждого конструктивного фактора на прочность опытных образцов:

$$q = \Delta_{cp} f(a) f(u) f(t). \quad (4)$$

Полученная многофакторная формула предназначена для определения максимальной плотности теплового потока в зависимости от любого сочетания трех вариативных факторов. Подставляя параметры факторов, получим соответствующее значение плотности теплового потока.

Согласно сетке опытов изготавливались образцы для испытаний. Торцевые ребра стеновых панелей изготавливались из древесины сосны 2-го сорта.

Исследование теплофизических характеристик производилось путем измерения плотности теплового потока в узле сопряжения панелей, а также измерением температуры поверхности по линии, расположенной перпендикулярно стыку, с шагом 50 мм. Согласно методике экспериментальных исследований испытание должно проводиться на 12 образцах. Так как ходом испытаний не предполагалось разрушение образца и изменение каких-либо его физико-механических и теплотехнических характеристик, то некоторые образцы использовались для эксперимента повторно. Таким образом, были изготовлены три образца стыка панелей с различной шириной теплоизолирующего включения: 5, 15 и 25 мм. Также было проведено испытание узлового соединения без теплопроводного включения для определения эффективности принятых конструктивных и технологических решений.

Для достижения различных сочетаний варьируемых параметров в процессе испытаний менялся материал теплоизолирующего включения и температура «наружного» воздуха. Узловое соединение с цельнодеревянными торцевыми стойками испытывалось при различных наружных температурах: -5, -20 или -35 °С.

По результатам исследования построены зависимости плотности теплового потока от варьируемых параметров (рис. 6), а также температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции (рис. 7).

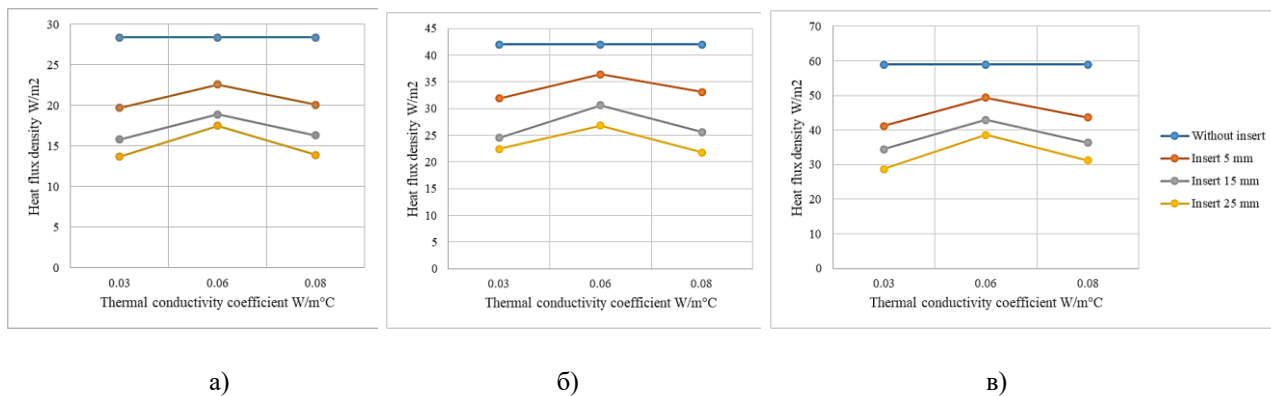


Рис. 6

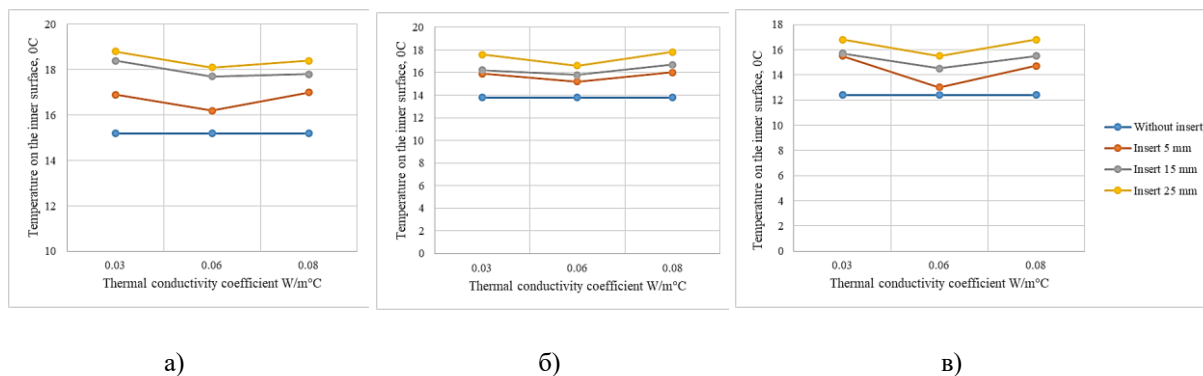


Рис. 7

Числовые значения плотности теплового потока, а также температуры внутренней поверхности ограждающей конструк-

ции для различных сочетаний варьируемых параметров приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Плотность теплового потока, Вт/м ²	Экструдированный пенополистирол	Пенофол			Воздух			Без вставки			
		5	15	25	5	15	25				
Толщина вставки, мм	5	15	25	5	15	25	5	15	25		
Температура наружного воздуха, °С	-5	19,7	15,8	13,7	22,6	18,9	17,5	20,1	16,3	13,9	28,4
	-20	31,9	24,5	22,4	36,4	30,6	26,8	33,1	26,6	21,8	42,0
	-35	41,2	34,5	28,7	49,4	43,0	38,6	43,7	36,3	31,2	59,0

Таблица 2

Температура внутренней поверхности, °С	Экструдированный пенополистирол	Пенофол			Воздух			Без вставки			
		5	15	25	5	15	25				
Толщина вставки, мм	5	15	25	5	15	25	5	15	25		
Температура наружного воздуха, °С	-5	16,9	18,4	18,8	16,2	17,7	18,1	17,0	17,8	18,4	15,2
	-20	15,9	16,2	17,6	15,2	15,8	16,6	16,0	16,7	17,8	13,8
	-35	15,5	15,7	16,8	13,0	14,6	15,5	14,7	15,5	16,8	12,4

В ходе испытаний построены графики распределения температуры по внутренней поверхности фрагмента ограждающей конструкции при различных типах и толщинах вставок и температуре наружного воздуха. В качестве примера приведены графики распределения температуры только при толщинах вставок 5,15 и 25 мм и температуре наружного воздуха -35 °С (рис. 8).

Построены графики распределения теплового потока по внутренней поверхности фрагмента ограждающей конструкции при различных типах и толщинах вставок и температуре наружного воздуха. В качестве примера приведены графики распределения теплового потока только при толщинах вставок 5,15 и 25 мм и температуре наружного воздуха -35 °С (рис. 9).

Анализируя графики на рис. 8 и 9, можно сделать вывод о том, что при увеличении толщины и изменении типа вставки температура на внутренней поверхности повышается, а плотность теплового потока снижается. При отсутствии теп-

лоизолирующей вставки значение температуры на внутренней поверхности стеновой панели и плотности теплового потока практически не изменяется.

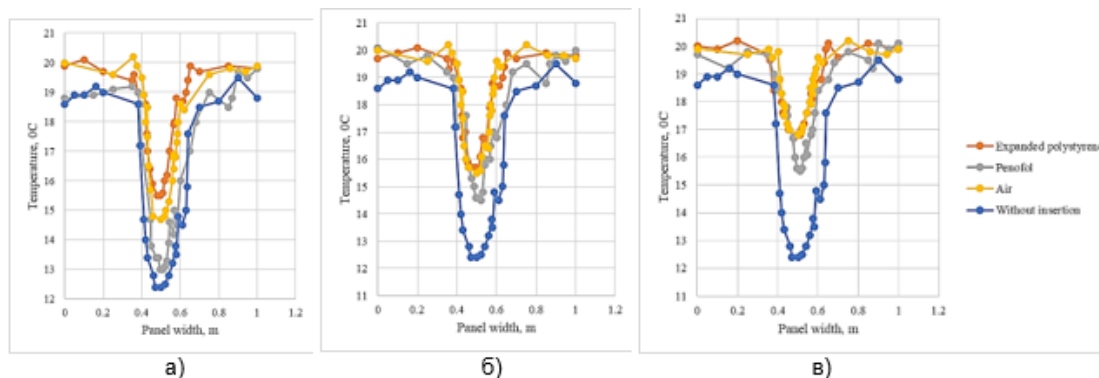


Рис. 8

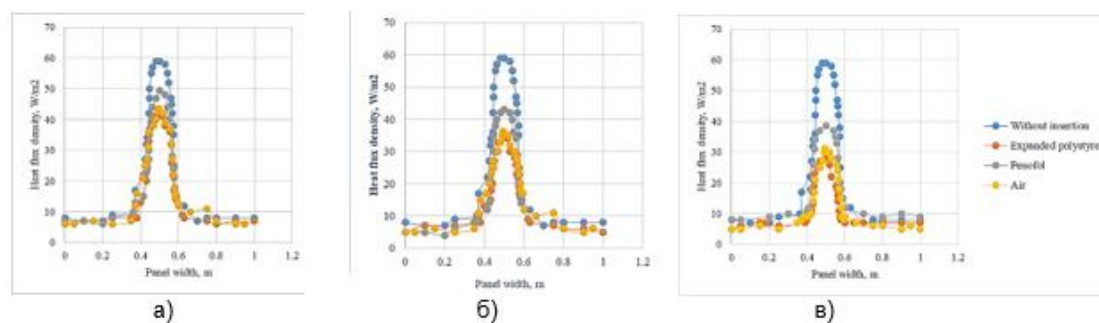


Рис. 9

ВЫВОДЫ

1. Экспериментальным путем выявлены зависимости плотности теплового потока, проходящего через линейную теплотехническую неоднородность, от варьируемых факторов, представленных в методике планирования эксперимента.

2. Установлено, что при испытаниях плотность теплового потока в ребрах с теплоизолирующими включениями меньше по сравнению с цельнодеревянными ребрами от 19% до 52%.

3. Установка линейно-дискретных включений в торцевые ребра панелей каркаса исключает столь значительное снижение температуры, следовательно, данный вид конструктивного решения повышает эксплуатационную надежность конструкций.

4. При испытаниях на теплопроводность установлены теплофизические параметры материалов, применяемых для изготовления панелей.

5. В целях продления цикла жизнедеятельности вспомогательных зданий текстильной промышленности, выполненных из сборных композитных панелей, при проведении капитального ремонта стенового ограждения рекомендовано устройство дополнительных линейно-дискретных теплоизолирующих включений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Залевский Л.Д. Экспериментальная и численная характеристика тепловых мостиков в стенах сборных зданий // Преобразование энергии и управление. 2010. № 12 (51). С. 2869...2877.

2. Santos P. Thermal transmittance of lightweight steel framed walls: Experimental versus numerical and analytical approaches // *Journal of Building Engineering*. 2019. № 25.
3. Tadeu A. Simulation of dynamic linear thermal bridges using a boundary element method model in the frequency domain // *Energy and Buildings*. 2011. № 12 (43). P. 3685...3695.
4. François A. In situ measurement method for the quantification of the thermal transmittance of a non-homogeneous wall or a thermal bridge using an inverse technique and active infrared thermography // *Energy and Buildings*. 2021. 233. P. 110633. – DOI: 10.1016/j.enbuild.2020.110633
5. Larbi A.B. Statistical modelling of heat transfer for thermal bridges of buildings // *Energy and Buildings*. 2005. № 9 (37). P. 945...951. – DOI: 10.1016/j.enbuild.2004.12.013
6. Sun K., Zheng C., Wang X. Thermal performance and thermal transmittance prediction of novel light-gauge steel-framed straw walls // *Journal of Building Engineering*. 2023. №67. P. 105973.
7. Roque E., Santos P. The effectiveness of thermal insulation in lightweight steel-framed walls with respect to its position // *Buildings*. 2017. № 1 (7).
8. Santos P., Mateus D. Experimental assessment of thermal break strips performance in load-bearing and non-load-bearing LSF walls // *Journal of Building Engineering*. 2020. № 32.
9. Perera D. Energy performance of fire rated LSF walls under UK climate conditions // *Journal of Building Engineering*. 2021. №44.
10. Soares N. Laboratory and in-situ non-destructive methods to evaluate the thermal transmittance and behavior of walls, windows, and construction elements with innovative materials: A review // *Energy and Buildings*. 2019. №182. P. 88...110.
11. Gribanov A.S., Rimshin V.I., Roshchina S.I. Experimental investigations of composite wooden beams with local wood modification // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. P. 033039.
12. Sergeev M.S., Lukin M.V., Rimshin V.I., Zdravovic N. Multi-span composite beam // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Issue "International Conference on Materials Physics, Building Structures and Technologies in Construction, Industrial and Production Engineering, MPCPE 2020" 2020. P. 012058.
13. Rimshin V.I., Labudin B.V., Melekhov V.I., Orlov A., Kurbatov V.L. Improvement of strength and stiffness of components of main struts with foundation in wooden frame buildings // *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018, 13(11). P. 3851...3856.
14. Рощина С.И., Лисятников М.С., Мелехов В.И., Лабудин Б.В., Лукин М.В. Применение высоких деревоклееных балок в покрытии зданий текстильных цехов // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2016. №5 (265). С. 267...271.
15. Merkulov S.I., Rimshin V.I., Akimov E.A., Kurbatov V.L., Roschina S.I. Regulatory support for the use of composite rod reinforcement in concrete structures // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. "International Conference on Materials Physics, Building Structures and Technologies in Construction, Industrial and Production Engineering, MPCPE 2020". 2020. P. 012022.
16. Rimshin V.I. Reinforced Concrete Vertical Structures Under a Gently Sloping Shell of Double Curvature Under the Influence of Progressive Collapse // *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2022. (182). P. 577...587.
17. Rimshin V.I. Engineering Calculations of Acidifier Retaining Walls During Water Treatment Facilities Designing // *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2022. (182). P. 55...73.
18. Rimshin V.I. Influence of Different Types of Aggregates on the Structural Properties of Fiber-Reinforced Concrete // *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022. (403 LNNS). P. 1467...1476.
19. Kornilova N.L. etc. How to transform lignin into a useful component of flax fiber for composite materials // *Industrial Crops and Products*, 2023, 192, 116088.
20. Румянцев Е.В. Использование отходов текстильной промышленности в производстве строительных композитов // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2021. (6). С. 21...29.
21. Коновалова В.С., Румянцева В.Е. Получение светящихся фосфатных покрытий на стали холодным методом // *Современные направления и перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении 2021 (ICMTMTE 2021): матер. междунар. науч.-техн. конф.* 2022. С. 66...70.
22. Сусоева И.В., Вахнина Т.Н., Титунин А.А., Румянцева В.Е. Технологические факторы и свойства теплоизоляционных плит из растительных наполнителей // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2022. С. 185...197.
23. Fedosov S.V., Roumyantseva V.E., Loginova S.A., Goglev I.N. Experimental research of the process bio-corrosion of cement concrete for inspection of building structures // *Lecture notes in civil engineering*. 2021. (147). P. 168...175.
24. Fedosov S.V., Romyantseva V.E., Konovalova V.S., Goglev I.N. The Influence of Structure Formation Conditions of the Composite on the Mass Transfer Processes // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Science and Technology Conference "Far East Con 2019"*. 2020. T. 753. С. 042047.

REFERENCES

1. Zalewski L.J. Experimental and numerical characterization of thermal bridges in prefabricated building walls // *Energy Conversion and Management*. 2010. № 12 (51). P. 2869...2877.

2. Santos P. Thermal transmittance of lightweight steel framed walls: Experimental versus numerical and analytical approaches // Journal of Building Engineering. 2019. (25).
3. Tadeu A. Simulation of dynamic linear thermal bridges using a boundary element method model in the frequency domain // Energy and Buildings. 2011. № 12 (43). P. 3685...3695.
4. François A. In situ measurement method for the quantification of the thermal transmittance of a non-homogeneous wall or a thermal bridge using an inverse technique and active infrared thermography // Energy and Buildings. 2021. (233).
5. Larbi A.B. Statistical modelling of heat transfer for thermal bridges of buildings // Energy and Buildings. 2005. № 9 (37). P. 945...951.
6. Sun K., Zheng C., Wang X. Thermal performance and thermal transmittance prediction of novel light-gauge steel-framed straw walls // Journal of Building Engineering. 2023. №67. P. 105973.
7. Roque E., Santos P. The effectiveness of thermal insulation in lightweight steel-framed walls with respect to its position // Buildings. 2017. № 1 (7).
8. Santos P., Mateus D. Experimental assessment of thermal break strips performance in load-bearing and non-load-bearing LSF walls // Journal of Building Engineering. 2020. № 32.
9. Perera D. Energy performance of fire rated LSF walls under UK climate conditions // Journal of Building Engineering. 2021. №44.
10. Soares N. Laboratory and in-situ non-destructive methods to evaluate the thermal transmittance and behavior of walls, windows, and construction elements with innovative materials: A review // Energy and Buildings. 2019. №182. P. 88...110.
11. Griбанov A.S., Rimshin V.I., Roshchina S.I. Experimental investigations of composite wooden beams with local wood modification // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. P. 033039.
12. Sergeev M.S., Lukin M.V., Rimshin V.I., Zdravovic N. Multi-span composite beam // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Issue "International Conference on Materials Physics, Building Structures and Technologies in Construction, Industrial and Production Engineering, MPCPE 2020" 2020. P. 012058.
13. Rimshin V.I., Labudin B.V., Melekhov V.I., Orlov A., Kurbatov V.L. Improvement of strength and stiffness of components of main struts with foundation in wooden frame buildings // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018, 13(11). P. 3851...3856.
14. Roshchina S.I., Lisyatnikov M.S., Melekhov V.I., Labudin B.V., Lukin M.V. Application of high glued wooden beams in the ceiling of buildings textile plants // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2016. №5 (265). P. 267...271.
15. Merkulov S.I., Rimshin V.I., Akimov E.A., Kurbatov V.L., Roschina S.I. Regulatory support for the use of composite rod reinforcement in concrete structures // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. "International Conference on Materials Physics, Building Structures and Technologies in Construction, Industrial and Production Engineering, MPCPE 2020". 2020. P. 012022.
16. Rimshin V.I. Reinforced Concrete Vertical Structures Under a Gently Sloping Shell of Double Curvature Under the Influence of Progressive Collapse // Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. (182). P. 577...587.
17. Rimshin V.I. Engineering Calculations of Acidifier Retaining Walls During Water Treatment Facilities Designing // Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. (182). P. 55...73.
18. Rimshin V.I. Influence of Different Types of Aggregates on the Structural Properties of Fiber-Reinforced Concrete // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. (403 LNNS). P. 1467...1476.
19. Kornilova N.L. etc. How to transform lignin into a useful component of flax fiber for composite materials // Industrial Crops and Products, 2023, 192, 116088.
20. Rummyantsev E.V. The use of textile industry waste in the production of building composites. // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2021. (6), P. 21...29.
21. Konovalova V.S., Rummyantseva V.E. Obtaining luminous phosphate coatings on steel by cold method // International conference on modern trends in manufacturing technologies and equipment. ICMTME 2021. 2022. P. 66...70.
22. Susoeva I.V., Vakhnina T.N., Titunin A.A., Rummyantseva V.E. Processing factors and properties of thermal insulation boards made of plant fillers // Russian forestry journal. 2022. P. 185...197.
23. Fedosov S.V., Rummyantseva V.E., Loginoва S.A., Goglev I.N. Experimental research of the process bio-corrosion of cement concrete for inspection of building structures // Lecture notes in civil engineering. 2021. (147). P. 168...175.
24. Fedosov S.V., Rummyantseva V.E., Konovalova V.S., Goglev I.N. The Influence of Structure Formation Conditions of the Composite on the Mass Transfer Processes // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Science and Technology Conference "Far East Con 2019". 2020. Vol. 753. P. 042047.

Рекомендована кафедрой строительных конструкций Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых. Поступила 10.07.23.